



ローラ駆動される球体の運動学及びその搬送制御に関する研究

著者	筑紫 彰太
発行年	2018-03-23
学位授与番号	17104甲生工第318号
URL	http://hdl.handle.net/10228/00006785

氏名・（本籍）	筑紫 彰太（ 福岡 ）
学 位 の 種 類	博 士（ 工学 ）
学 位 記 番 号	生工博甲第318号
学位授与の日付	平成 30 年 3 月 23 日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	ローラ駆動される球体の運動学及びその搬送制御に関する研究
論文審査委員会	委員長 教 授 ジアン ドゥーソップ ジェームズ
	" 石井 和男
	" 林 英治
	准教授 宮本 弘之

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、ローラによって駆動される球体の運動を球体とローラの幾何学的な関係から解析し、運動学を提案、提案した運動学を用いたシミュレーション及び実験において評価し、最終的に全方位移動ロボットによる球体搬送制御を行っている。

第一章では物体搬送方法の一つとしてロボットが球体を操作して運搬する球体搬送を提案した。これまでに球体操作に関する研究は行われており、ここでは先行研究を分類して、本研究の位置付けを述べている。球体操作に関する研究として、内部から操作をする内部駆動方式と外部から操作をする外部駆動方式がある。さらに外部駆動方式には球体をタイヤのように移動手段として用いる球体移動と本研究が焦点をあてた球体搬送に関する研究があり、それらの研究背景と利点欠点について述べている。

第二章ではローラ駆動される球体の運動学を提案している。運動学はローラ角速度ベクトルから球体速度ベクトル導出する演算を順運動学、その逆で球体速度ベクトルからローラ角速度ベクトルを導出する演算を逆運動学とし、球体とローラの幾何学的な関係より、球体速度ベクトルと駆動ローラ角速度ベクトルの関係を明らかにした。運動学を表現する変数は、球体径、ローラ径、ローラ取り付け位置、取り付け角等となっている。

第三章では第二章で提案した運動学についてシミュレーションを行い、検証をしている。一つ目のシミュレーションとして、運動学の幾何学的パラメータ変更に対し、順運動学と逆運動学の演算結果が逆関係にあることを検証している。シミュレーションの入力として、球体速度ベクトルを逆運動学に与え、演算結果であるローラ角速度ベクトルを引き続き順運動に入出力値が一致することを確認した。シミュレーションはローラを地面に垂直で球体中心を通る平面に対して対称に配置したときの球体上の任意点において検証している。二つ目のシミュレーションとして、ローラの運動効率について検証をした。球上の任意点にローラを配置したとき、任意点における球体の運動特性は異なり、ローラの運動効率も異なる。そこで、球上の任意点における運動特性を

明らかにして、ローラの運動効率を述べた。

第四章において、運動学を定量的に検証するため新たに実験装置を開発し、実験装置による運動学の検証と自律型全方位移動ロボットへの運動学実装について述べている。実験装置は球体の上半球であればローラを任意の位置、角度に設置可能な設計となっている。実験装置には能動的に回転する2つのローラがついており、ローラが回転することで、球体が回転し実験装置が動く仕組みとなっている。実験装置は全方向に動作することを想定しているため、実験装置の周囲に受動的に回転する4つのオムニホイールが取り付けられている。また、2つのローラ、4つのオムニホイールにはそれぞれエンコーダが取り付けられており、オムニホイール速度から実験装置の速度、姿勢を、ノーマルローラ速度から本研究で提案した順運動学を解くことで球体の速度を求めることが可能となっている。

実験は実験装置を1m/sで前進方向、横方向と斜め方向の3方向に移動させた。このときに実験装置の速度とローラ速度から順運動学を用いて求めた球体速度を比較することで運動学の検証を行った。実験結果から運動学関係式が成立することを確認した。

五章では運動学を自律型全方位移動ロボットに実装したときの球体搬送方法について提案している。実環境で球体搬送する際、球体と地面、球体とローラに滑りが発生することや地面との凹凸により球体とローラの接地状態が変化することが考えられる。また、ローラ取り付け角方向に前進移動（斜め前移動）するときは、片方のローラ角速度が0、もう一方のローラが最大角速度で球体を押し出す状況となる。そこで、本研究では球体をロボットの方向に引き込む速度（以降、引き込み速度）とローラ取り付け角方向に移動する時に引き込み速度がピークとなるガウス関数を加える球体搬送方法を提案した。実験より提案した球体搬送方法によって全方位に搬送可能であることを確認した。

最後に結論及び提案した球体搬送の将来展望について述べている。

本論文はローラ駆動される球体の運動学を提案し、全方位移動ロボットにおける球体搬送方法について提案したものである。

学位論文審査の結果の要旨

本論文は球体の運動学を扱った論文であり、運動学の導出から実機実験、解析まで一連の検証を行い、新たな物体搬送手法として球体搬送を提案したものである。

本論文に関し、審査委員から、ローラ配置の制約条件、ロボット移動軌跡に応じたローラ運動効率、実機での球体搬送における運動学の位置付け、球体搬送の将来展望、などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足（明確）な回答が得られた。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、

本論文が，博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した．